

Umělý život

Petr Pošík

Katedra kybernetiky

ČVUT FEL

Co je umělý život?

Definice

Conway's Game of Life

Game of Life: příklady konfigurací

Game of Life: Demo

Příklady alife systémů

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické) algoritmy

Závěr

Co je umělý život?

Co je umělý život?

Definice

Conway's Game of Life

Game of Life: příklady konfigurací

Game of Life: Demo

Příklady alife systémů

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

- ✓ Studuje umělé systémy napodobující některé rysy živých systémů a procesy, které v nich probíhají
- ✓ Hojně využívá simulací
- ✓ Druhy:
 - ✗ Soft alife: simulace prostřednictvím softwaru
 - ✗ Hard alife: simulace prostřednictvím hardwaru (robotika)
 - ✗ Wet alife: simulace “ve zkumavce” (biochemie)
- ✓ V užším smyslu se jako “alife” označuje hlavně soft alife
- ✓ Emergence: jednoduché chování jedinců → složité chování celku

Conway's Game of Life

Co je umělý život?

Definice

Conway's Game of Life

Game of Life: příklady konfigurací

Game of Life: Demo

Příklady alife systémů

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

- ✓ Buňky v pravoúhlé mřížce (nekonečná, s nulovými okrajovými podmínkami nebo toroidní)
- ✓ Každá buňka je buď živá nebo mrtvá
- ✓ Stav buňky závisí na jejím stavu a na stavu buněk v jejím 8okolí
- ✓ Stav všech buněk se mění synchronně (všechny mění stav najednou)
- ✓ Všechny buňky se řídí stejnými pravidly:
 1. živá buňka s méně než 2 živými sousedy umírá (nedostatečné osídlení)
 2. živá buňka s více než 3 živými sousedy umírá (příliš velké osídlení)
 3. živá buňka se 2 nebo 3 sousedy přežívá
 4. mrtvá buňka s přesně 3 sousedy ožívá

Conway's Game of Life

Co je umělý život?

Definice

Conway's Game of Life

Game of Life: příklady konfigurací

Game of Life: Demo

Příklady alife systémů

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

- ✓ Buňky v pravoúhlé mřížce (nekonečná, s nulovými okrajovými podmínkami nebo toroidní)
- ✓ Každá buňka je buď živá nebo mrtvá
- ✓ Stav buňky závisí na jejím stavu a na stavu buněk v jejím 8okolí
- ✓ Stav všech buněk se mění synchronně (všechny mění stav najednou)
- ✓ Všechny buňky se řídí stejnými pravidly:
 1. živá buňka s méně než 2 živými sousedy umírá (nedostatečné osídlení)
 2. živá buňka s více než 3 živými sousedy umírá (příliš velké osídlení)
 3. živá buňka se 2 nebo 3 sousedy přežívá
 4. mrtvá buňka s přesně 3 sousedy ožívá
- ✓ Pravidla se dají zjednodušit: buňka přežívá do další generace, pokud
 1. má 3 živé sousedy, nebo
 2. je živá a má 2 živé sousedy.
- ✓ Chování celého systému závisí jen na úvodním vzoru!!!

Game of Life: příklady konfigurací

Co je umělý život?

Definice

Conway's Game of Life

Game of Life: příklady konfigurací

Game of Life: Demo

Příklady alife systémů

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

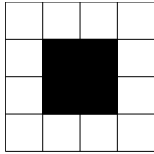
Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické) algoritmy

Závěr

Blok:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

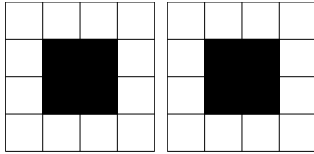
[Mravenčí kolonie](#)

[Rojení částic
\(Particle Swarm\)](#)

[Evoluční \(genetické\)
algoritmy](#)

[Závěr](#)

Blok:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

[Mravenčí kolonie](#)

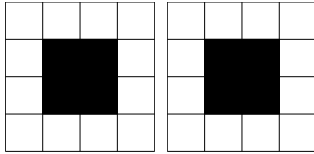
[Rojení částic](#)

[\(Particle Swarm\)](#)

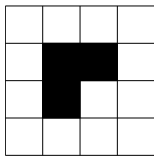
[Evoluční \(genetické\) algoritmy](#)

[Závěr](#)

Blok:



L-shape:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

[Mravenčí kolonie](#)

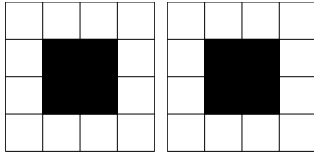
[Rojení částic](#)

[\(Particle Swarm\)](#)

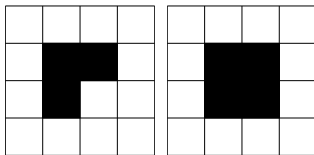
[Evoluční \(genetické\) algoritmy](#)

[Závěr](#)

Blok:



L-shape:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

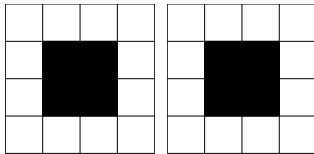
[Mravenčí kolonie](#)

[Rojení částic
\(Particle Swarm\)](#)

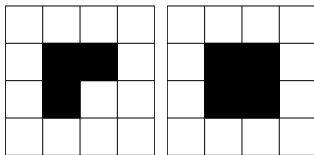
[Evoluční \(genetické\)
algoritmy](#)

[Závěr](#)

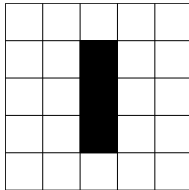
Blok:



L-shape:



Blinker:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

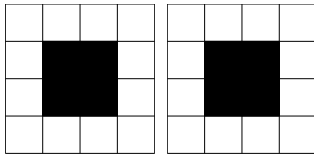
[Mravenčí kolonie](#)

[Rojení částic
\(Particle Swarm\)](#)

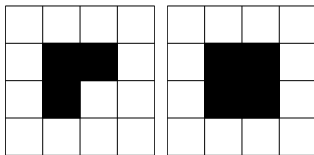
[Evoluční \(genetické\)
algoritmy](#)

[Závěr](#)

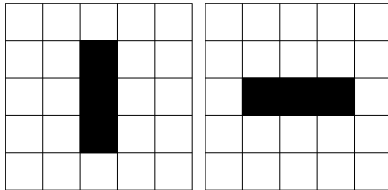
Blok:



L-shape:



Blinker:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

[Mravenčí kolonie](#)

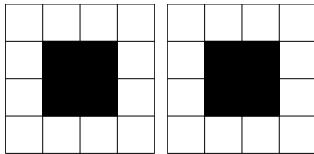
[Rojení částic](#)

[\(Particle Swarm\)](#)

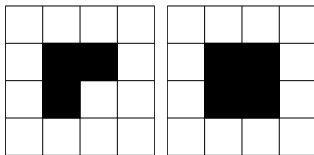
[Evoluční \(genetické\) algoritmy](#)

[Závěr](#)

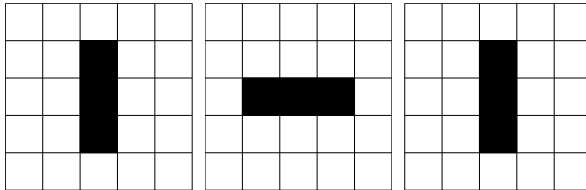
Blok:



L-shape:



Blinker:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

Game of Life: příklady konfigurací

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

[Mravenčí kolonie](#)

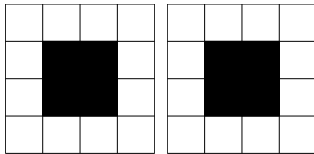
[Rojení částic](#)

[\(Particle Swarm\)](#)

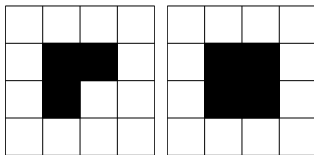
[Evoluční \(genetické\) algoritmy](#)

[Závěr](#)

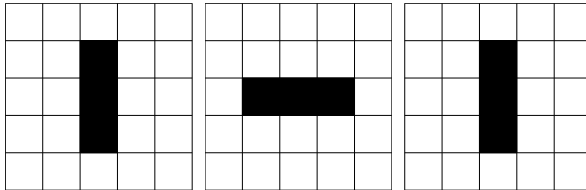
Blok:



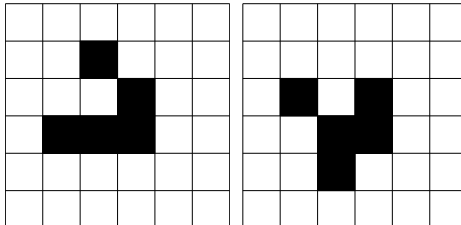
L-shape:



Blinker:



Glider:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

[Mravenčí kolonie](#)

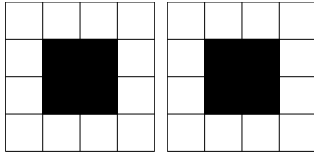
[Rojení částic](#)

[\(Particle Swarm\)](#)

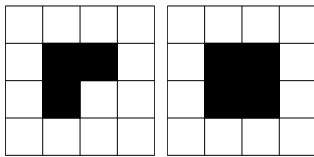
[Evoluční \(genetické\) algoritmy](#)

[Závěr](#)

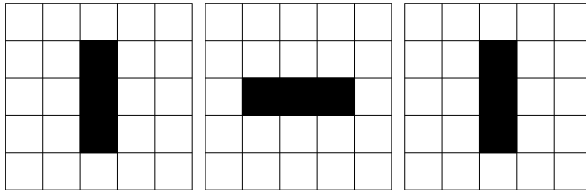
Blok:



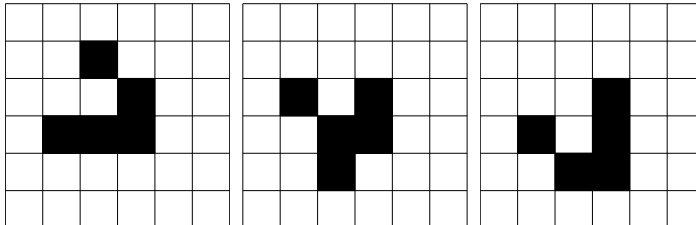
L-shape:



Blinker:



Glider:



Game of Life: příklady konfigurací

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

Game of Life: příklady konfigurací

[Game of Life: Demo](#)

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

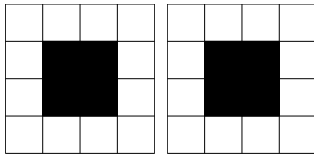
[Mravenčí kolonie](#)

[Rojení částic
\(Particle Swarm\)](#)

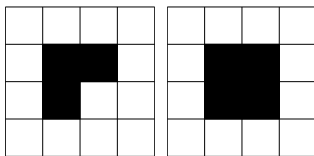
[Evoluční \(genetické\)
algoritmy](#)

[Závěr](#)

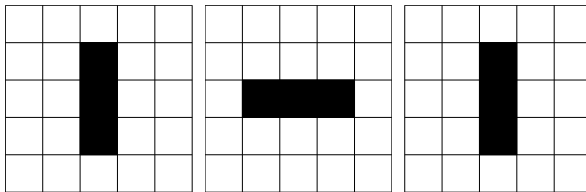
Blok:



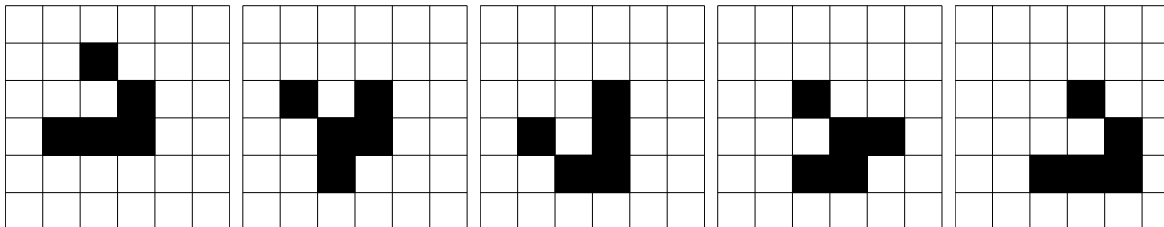
L-shape:



Blinker:



Glider:



Game of Life: Demo

[Co je umělý život?](#)

[Definice](#)

[Conway's Game of Life](#)

[Game of Life: příklady konfigurací](#)

Game of Life: Demo

[Příklady alife systémů](#)

[Celulární automaty](#)

[Mravenčí kolonie](#)

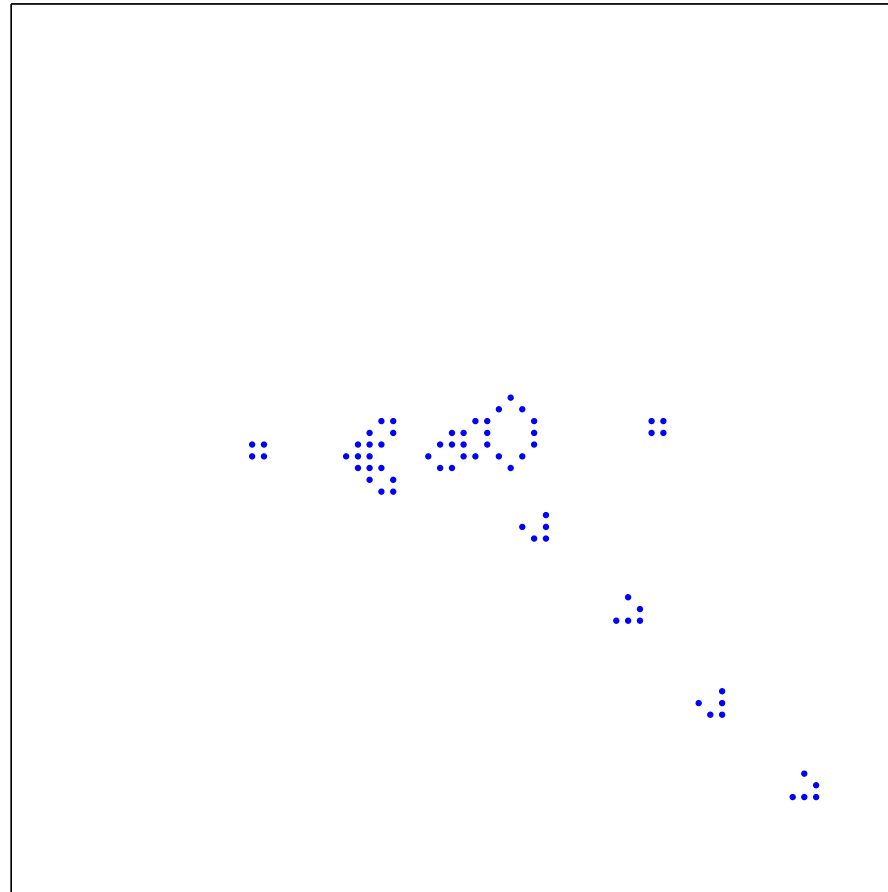
[Rojení částic](#)

[\(Particle Swarm\)](#)

[Evoluční \(genetické\) algoritmy](#)

[Závěr](#)

Gosper glider gun



t=123, pop= 68

Příklady alife systémů

Co je umělý život?

Definice

Conway's Game of Life

Game of Life: příklady konfigurací

Game of Life: Demo

Příklady alife systémů

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické) algoritmy

Závěr

- ✓ Celulární automaty (1D a 2D verze)
- ✓ Evoluční algoritmy
- ✓ Mravenčí kolonie
- ✓ Rojení částic
- ✓ Multiagentní systémy
- ✓ Neuronové sítě
- ✓ ...

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Celulární automaty

1D celulární automaty

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

- ✓ Buňky tvoří řetězec (nekonečný, ohraničený nulami, nebo cyklický)
- ✓ $s_i(t)$: stav i . buňky v čase t
- ✓ **Pravidlo** popisuje, do jakého stavu má přejít buňka v závislosti na jejím stavu a na stavu buněk v jejím okolí
- ✓ Pravidlo má tvar $\{s_{i-1}(t), s_i(t), s_{i+1}(t)\} \rightarrow s_i(t+1)$
- ✓ Kolik pravidel lze pro takovýto 1D CA vytvořit?

1D celulární automaty

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

- ✓ Buňky tvoří řetězec (nekonečný, ohraničený nulami, nebo cyklický)
- ✓ $s_i(t)$: stav i . buňky v čase t
- ✓ **Pravidlo** popisuje, do jakého stavu má přejít buňka v závislosti na jejím stavu a na stavu buněk v jejím okolí
- ✓ Pravidlo má tvar $\{s_{i-1}(t), s_i(t), s_{i+1}(t)\} \rightarrow s_i(t+1)$
- ✓ Kolik pravidel lze pro takovýto 1D CA vytvořit?

Stav okolí								Číslo pravidla
111	110	101	100	011	010	001	000	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0	30
0	0	1	0	1	1	0	1	45
0	1	0	1	1	0	1	0	90
1	0	0	1	0	1	1	0	150
1	1	0	0	1	0	0	0	200
1	1	1	1	1	1	1	0	254
1	1	1	1	1	1	1	1	255

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Generátor pseudonáhodných čísel: bitový proud generovaný celulárním automatem

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

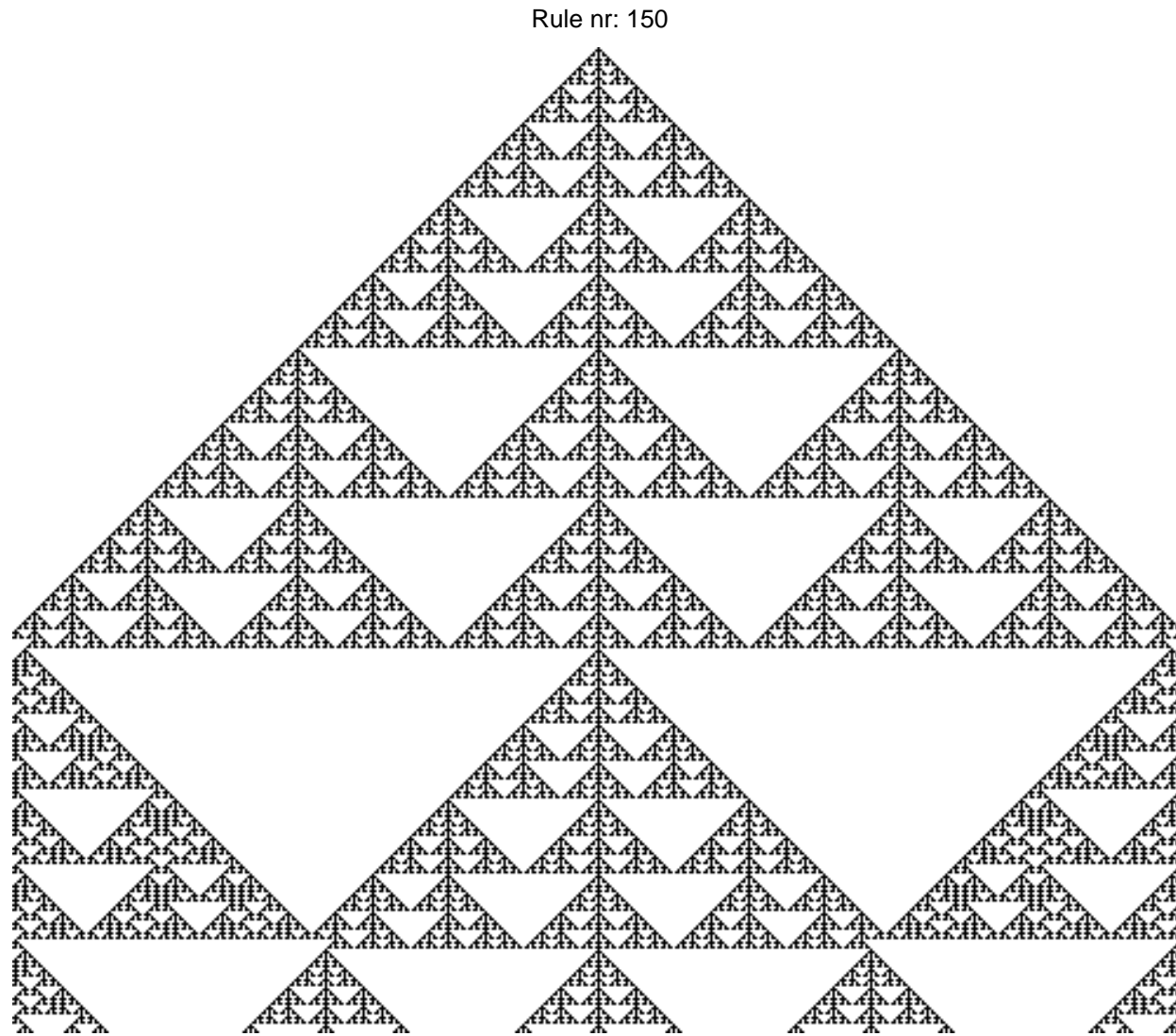
Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Generátor pseudonáhodných čísel: bitový proud generovaný celulárním automatem



Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

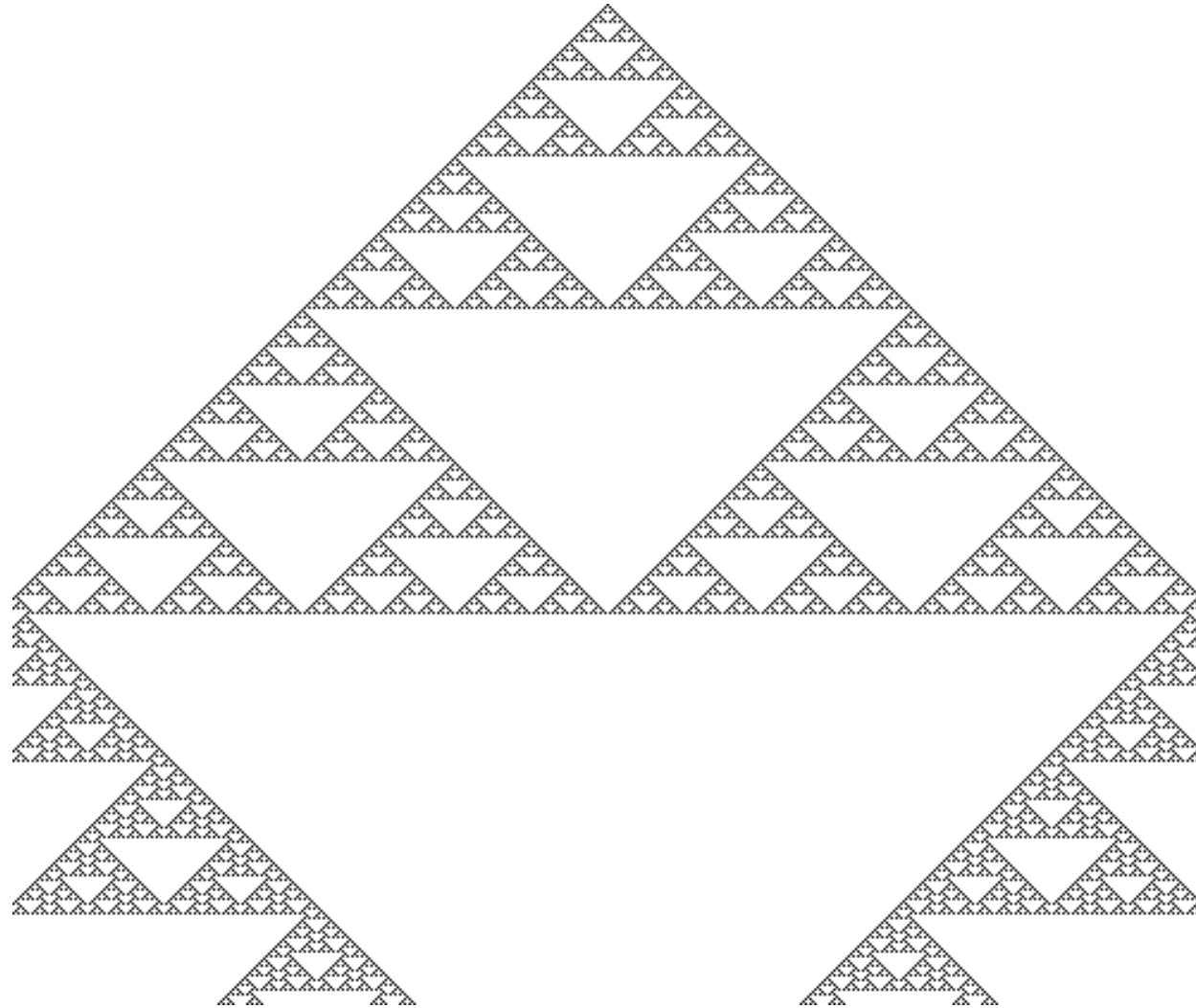
Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Generátor pseudonáhodných čísel: bitový proud generovaný celulárním automatem

Rule nr: 146



Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

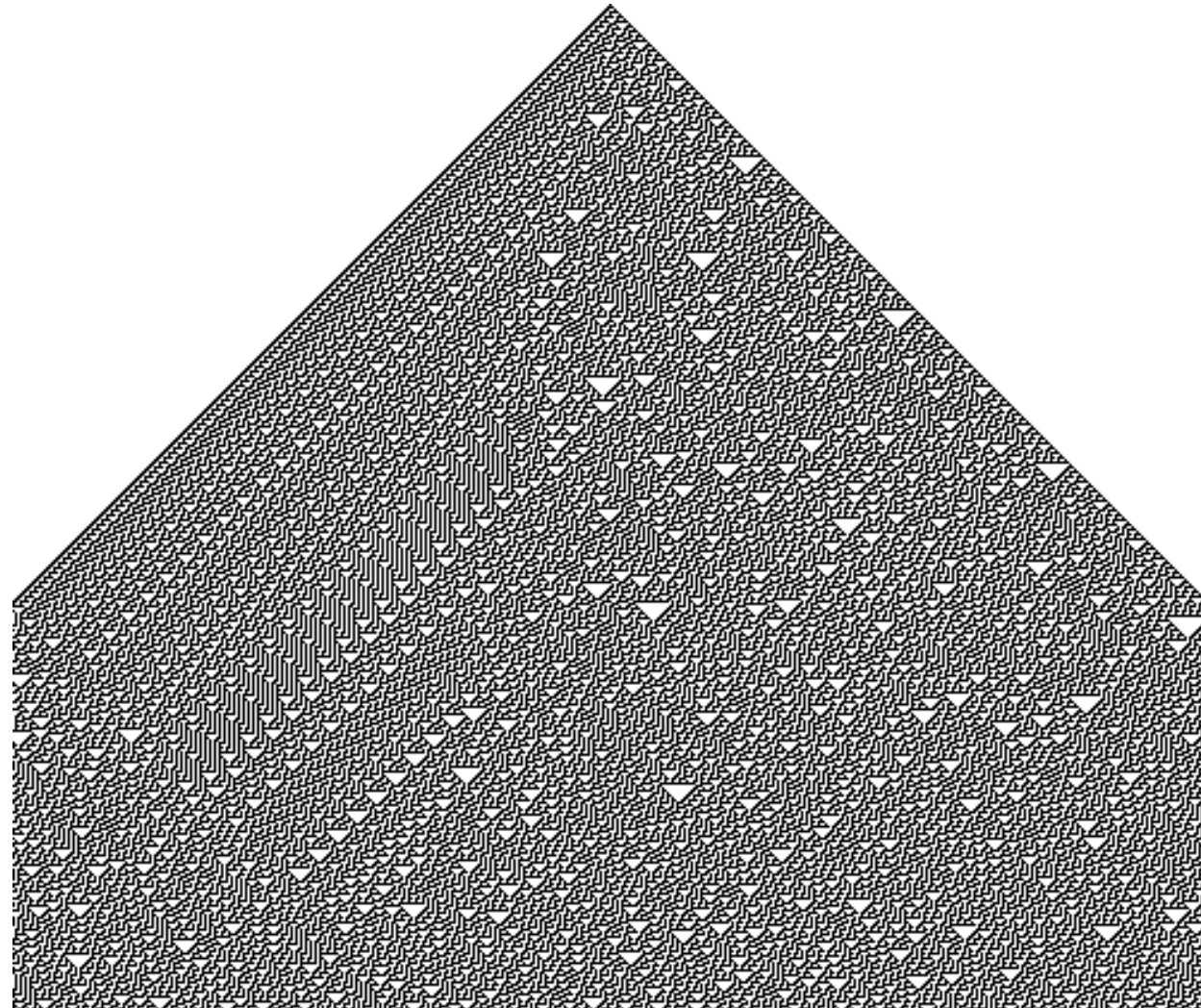
Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Generátor pseudonáhodných čísel: bitový proud generovaný celulárním automatem

Rule nr: 30



2D celulární automaty

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)

algoritmy

Závěr

- ✓ Příklad: Conway's Game of Life
- ✓ Kolik pravidel lze vytvořit pro 2D CA typu "Game of Life"?

2D celulární automaty

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)

algoritmy

Závěr

- ✓ Příklad: Conway's Game of Life
- ✓ Kolik pravidel lze vytvořit pro 2D CA typu "Game of Life"?
 - ✗ Počet možných konfigurací okolí:

2D celulární automaty

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)

algoritmy

Závěr

- ✓ Příklad: Conway's Game of Life
- ✓ Kolik pravidel lze vytvořit pro 2D CA typu "Game of Life"?
 - ✗ Počet možných konfigurací okolí: 2^9

2D celulární automaty

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)

algoritmy

Závěr

- ✓ Příklad: Conway's Game of Life
- ✓ Kolik pravidel lze vytvořit pro 2D CA typu "Game of Life"?
 - ✗ Počet možných konfigurací okolí: 2^9
 - ✗ Počet možných pravidel:

2D celulární automaty

Co je umělý život?

Celulární automaty

1D celulární automaty

Praktická aplikace CA

2D celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic

(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)

algoritmy

Závěr

- ✓ Příklad: Conway's Game of Life
- ✓ Kolik pravidel lze vytvořit pro 2D CA typu "Game of Life"?
 - ✗ Počet možných konfigurací okolí: 2^9
 - ✗ Počet možných pravidel: $2^{2^9} \approx 1.34 \cdot 10^{154}$

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Princip

Ukázka

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Mravenčí kolonie

Mravenčí kolonie: Princip

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Princip

Ukázka

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Typická aplikace: hledání nejkratší cesty v grafu

- ✓ Mravenci obvykle nekomunikují mezi sebou vzájemně, používají feromon:
 - ✗ Feromon mravenci ukládají na místa, kudy prošli
 - ✗ Feromonů může být i více typů
 - ✗ Množství feromonu se může řídit délkou nalezené cesty
 - ✗ Feromon se s časem vypařuje
- ✓ Mravenci mohou být feromonem přitahováni nebo odpuzováni
- ✓ Rozhodnutí, kam přejít, je stochastické, ale řídí se množstvím feromonu

Mravenčí kolonie: Princip

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Princip

Ukázka

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Typická aplikace: hledání nejkratší cesty v grafu

- ✓ Mravenci obvykle nekomunikují mezi sebou vzájemně, používají feromon:
 - ✗ Feromon mravenci ukládají na místa, kudy prošli
 - ✗ Feromonů může být i více typů
 - ✗ Množství feromonu se může řídit délkou nalezené cesty
 - ✗ Feromon se s časem vypařuje
- ✓ Mravenci mohou být feromonem přitahováni nebo odpuzováni
- ✓ Rozhodnutí, kam přejít, je stochastické, ale řídí se množstvím feromonu

Ukázka na dalších slidech:

- ✓ Zdroj: MASON <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>
- ✓ Dva druhy feromonu:
 - ✗ Zelený: intenzita roste směrem k hnízdu
 - ✗ Modrý: intenzita roste směrem ke zdroji potravy
- ✓ Dva stavy mravenců:
 - ✗ Černý: hledá potravu, sleduje modrý feromon, klade zelený feromon
 - ✗ Červený: nese potravu do hnízda, sleduje zelený feromon, klade modrý feromon

Mravenčí kolonie: Ukázka

[Co je umělý život?](#)

[Celulární automaty](#)

[Mravenčí kolonie](#)

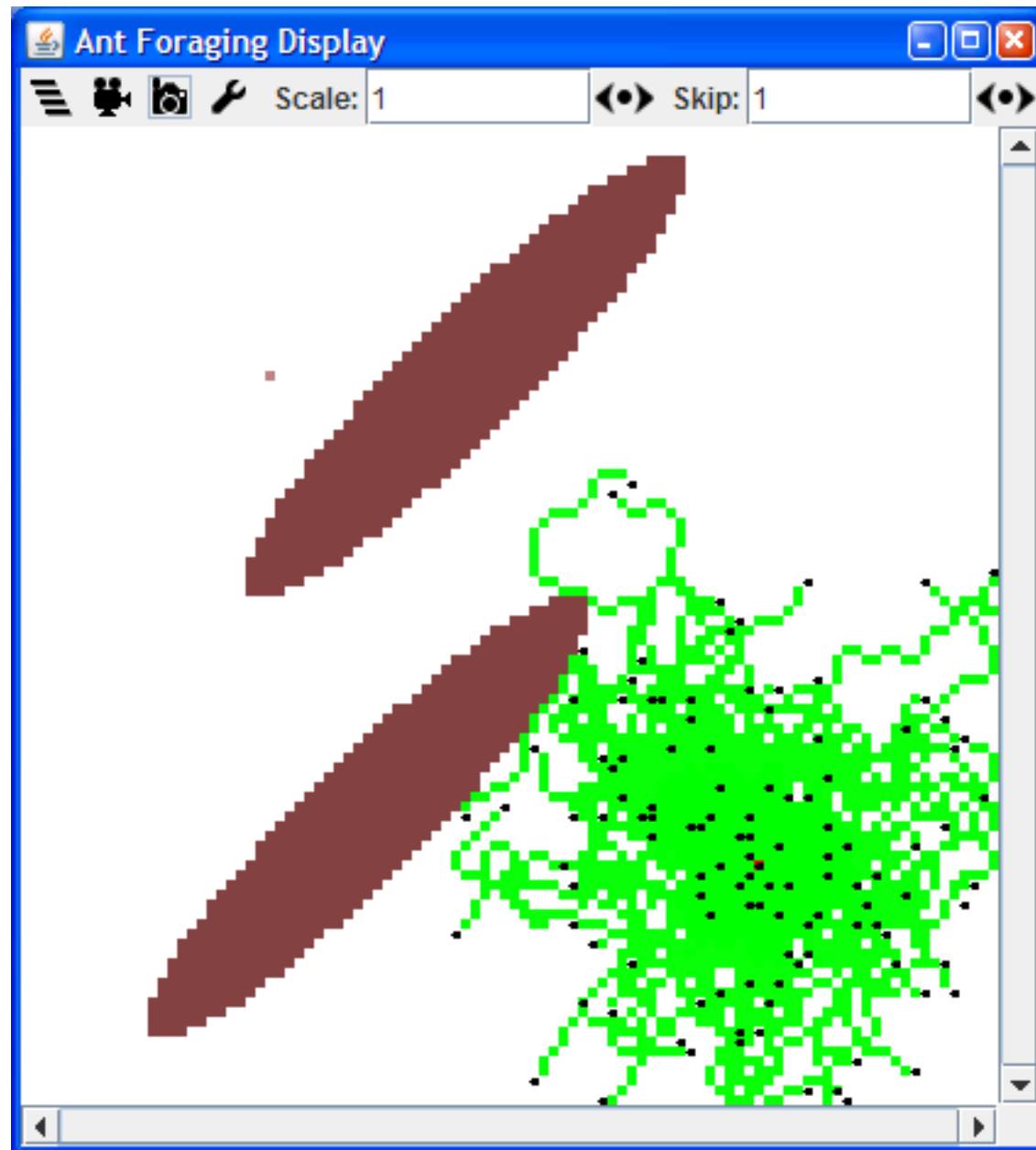
[Princip](#)

[Ukázka](#)

[Rojení částic
\(Particle Swarm\)](#)

[Evoluční \(genetické\)
algoritmy](#)

[Závěr](#)



Mravenčí kolonie: Ukázka

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

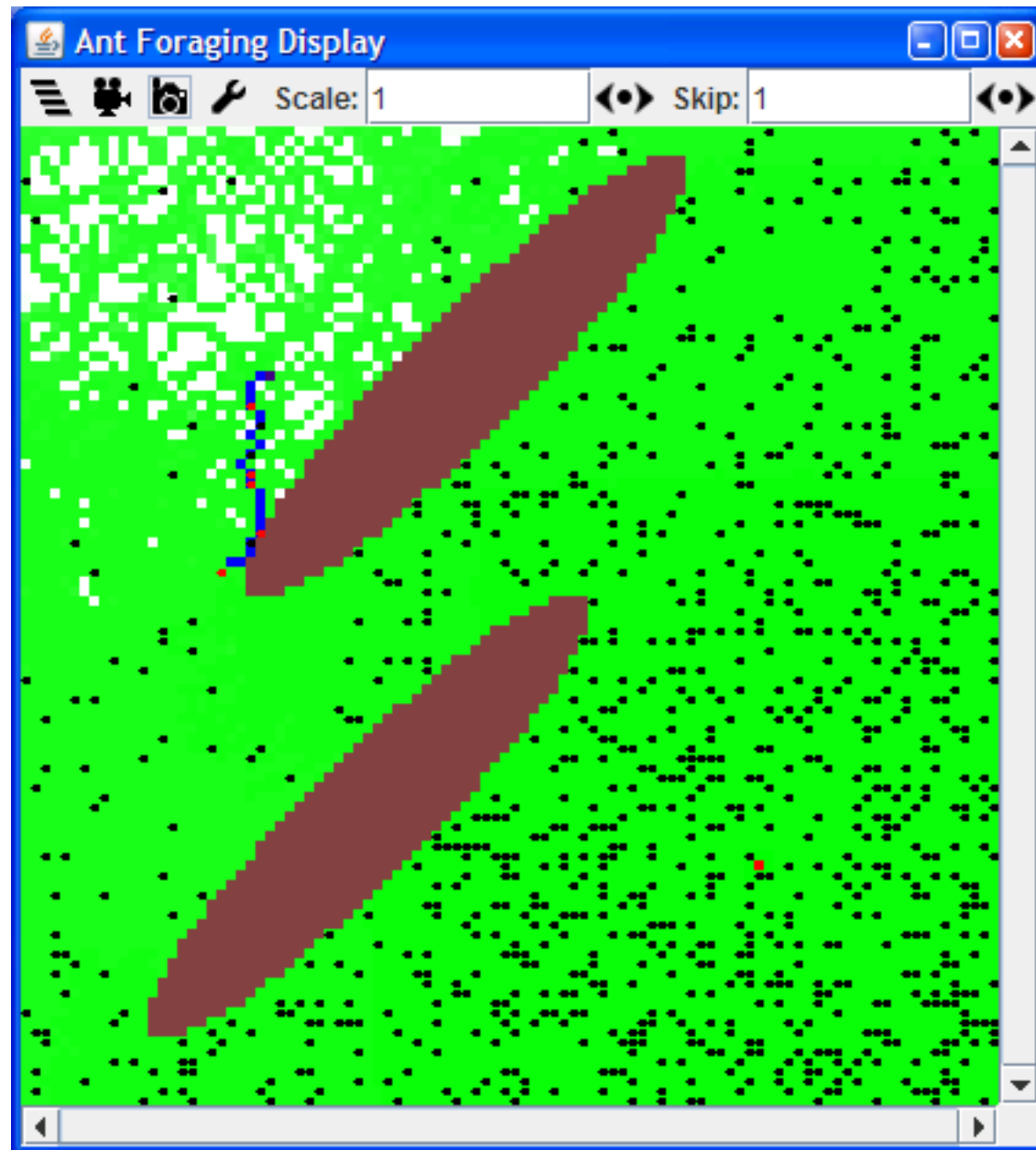
Princip

Ukázka

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr



Mravenčí kolonie: Ukázka

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

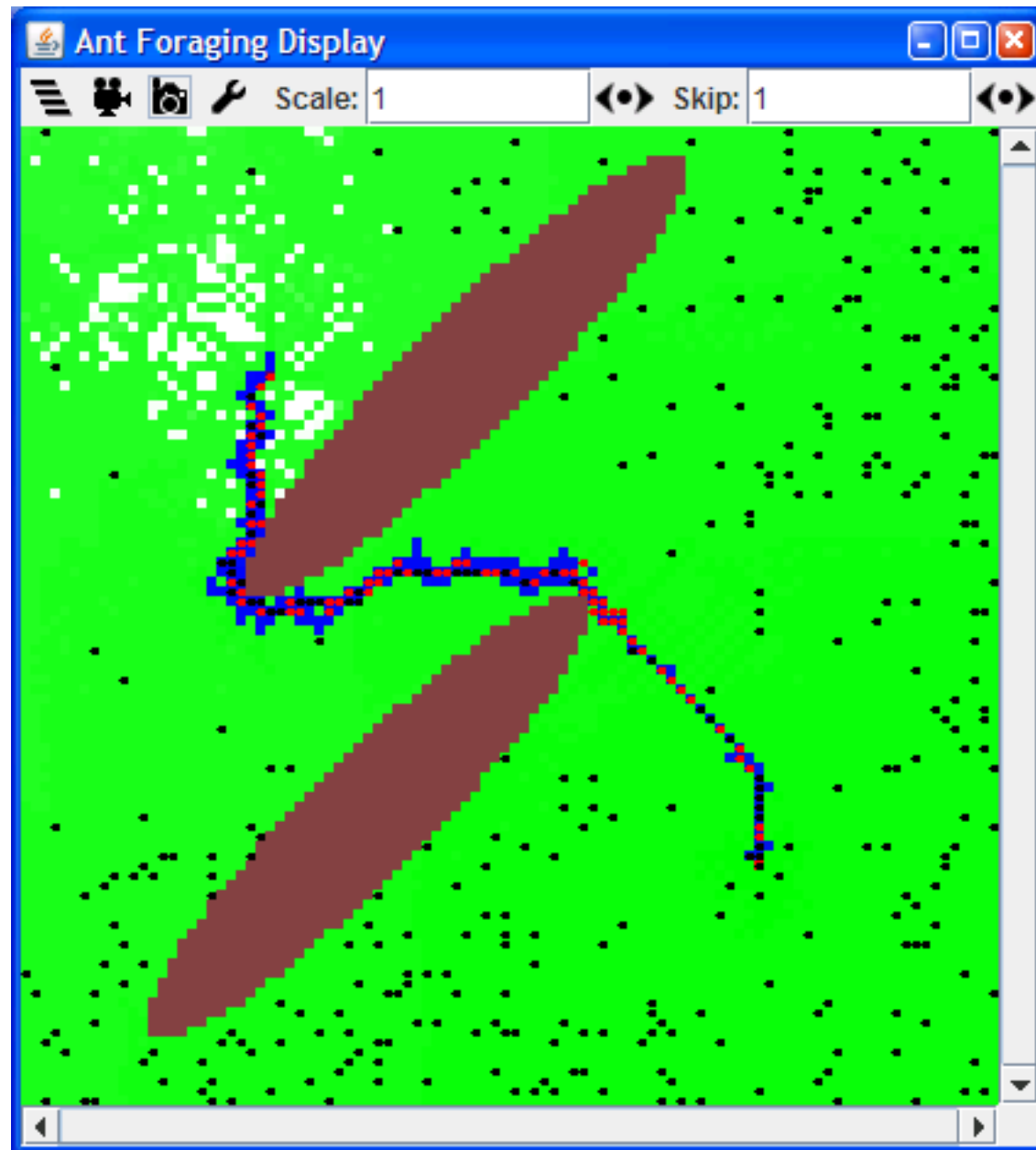
Princip

Ukázka

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr



Mravenčí kolonie: Ukázka

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

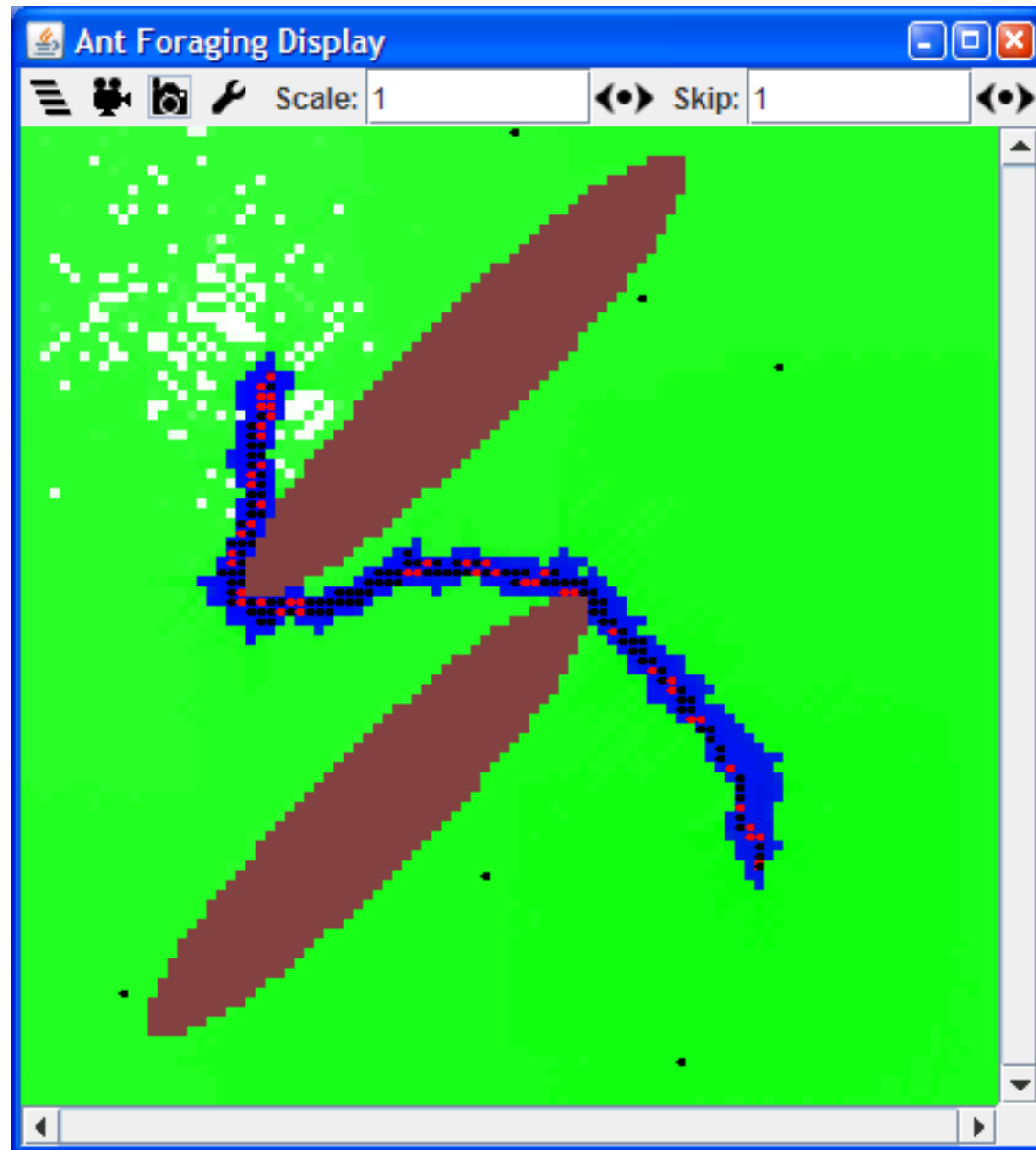
Princip

Ukázka

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr



Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

**Rojení částic
(Particle Swarm)**

Motivace

Demo

PSO

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Rojení částic (Particle Swarm)

Rojení částic: Motivace a princip

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Motivace

Demo

PSO

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Inspirace

- ✓ hejna ptáků nebo hejna ryb

Pravidlo se obvykle skládá z několika částí:

- ✓ pokračuj v dosavadním směru
- ✓ vyhýbej se překážkám a ostatním částicím
- ✓ uprav směr podle svých sousedů
- ✓ přidej náhodnou složku

Aplikace:

- ✓ Simulace pohybů hejna
- ✓ Optimalizace (Particle Swarm Optimization)

Rojení částic: Demo

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Motivace

Demo

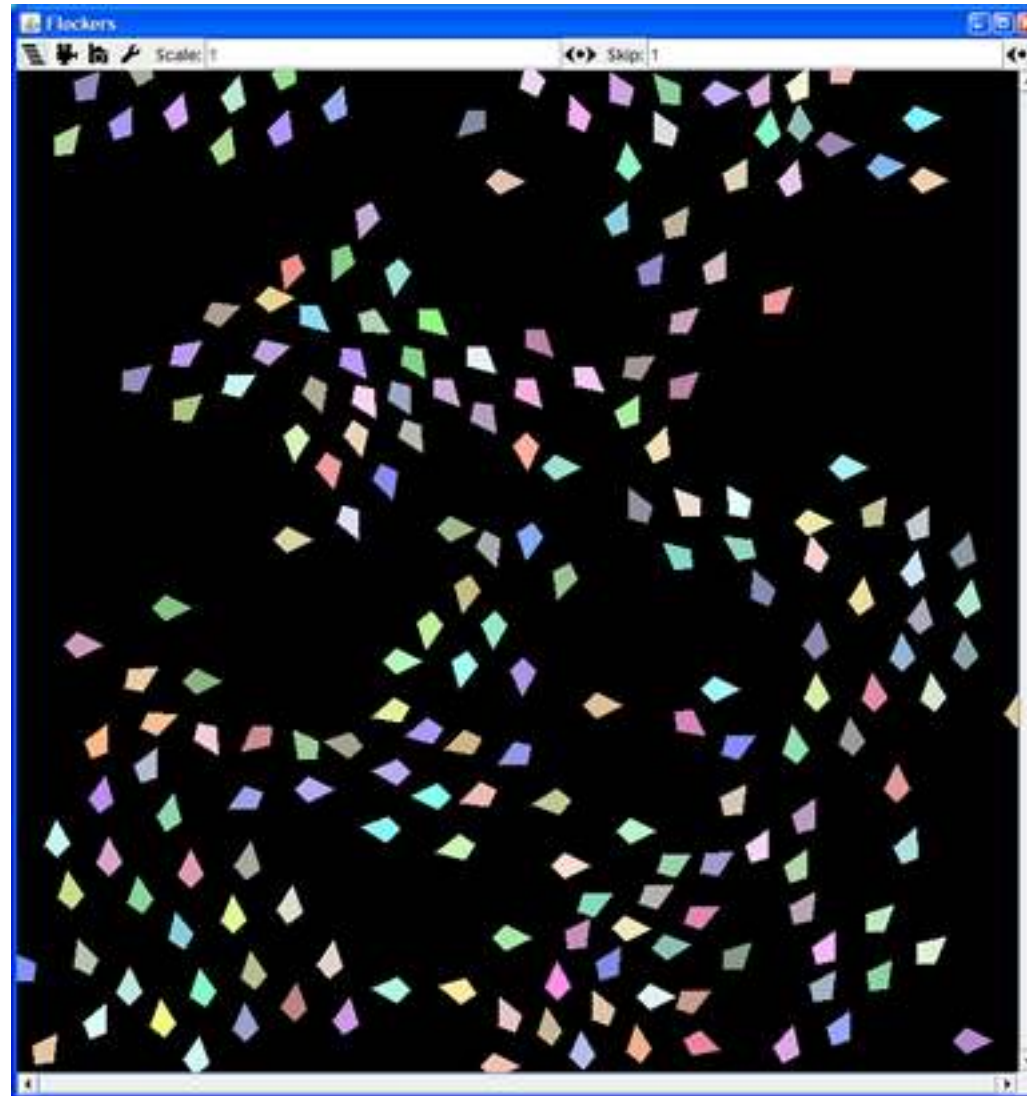
PSO

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Zdroj: MASON

<http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>



Optimalizace rojením částic (PSO)

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Motivace

Demo

PSO

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Hledáme optimum účelové (fitness) funkce. Tato funkce říká, jak kvalitní částice je.

Pravidlo pro výpočet pozice i . částice:

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i(t) + r_1 \cdot \phi_p(p_i - x_i(t)) + r_2 \cdot \phi_g(g - x_i(t)),$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1),$$

kde

- ✓ $x_i(t)$ je pozice i . částice v čase t ,
- ✓ $v_i(t)$ je rychlost i . částice v čase t ,
- ✓ p_i je nejlepší pozice navštívená i . částicí (personal best),
- ✓ g je nejlepší dosud navštívená pozice (global best),
- ✓ w , ϕ_p a ϕ_g jsou setrvačnost, přitažlivost k osobní nejlepší pozici a ke globální nejlepší pozici, a
- ✓ r_1 a r_2 jsou náhodná čísla mezi 0 a 1.

Demo: <http://www.stud.fit.vutbr.cz/~xgraiz00/ps0/applet.html>

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

**Evoluční (genetické)
algoritmy**

Princip

Závěr

Evoluční (genetické) algoritmy

EA: Motivace a princip

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Princip

Závěr

Hledáme optimum účelové (fitness) funkce. Tato funkce říká, jak kvalitní jedinec je.

Evoluční optimalizační algoritmy modelují principy

- ✓ Mendelovy teorie genetiky a
- ✓ Darwinovy teorie přirozeného výběru.
- ✓ Pracují s *populací* kandidátských řešení.

Princip: cyklické střídání 4 základních operací

- ✓ **Selekce:** výběr rodičů, kvalitní jedinci mají více dětí než nekvalitní
- ✓ **Křížení:** potomci vzniknou tak, že si rodiče mezi sebou prohodí některé své části
- ✓ **Mutace:** některé části potomků jsou náhodně změněny
- ✓ **Náhrada:** potomci a rodiče soutěží o místo v nové populaci

Demo: Marek Obitko <http://obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/>

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Shrnutí

Závěr

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Shrnutí

- ✓ Umělý život studuje zákonitosti a jevy probíhající v reálných živých systémech
- ✓ Simulace umělých systémů je základní nástroj
- ✓ Cíle:
 - ✗ pochopit efekty jednoduchých zákonitostí a pravidel v systémech s celými populacemi jedinců
 - ✗ využít (upravit) tyto zákonitosti pro řešení praktických úloh

Shrnutí

Co je umělý život?

Celulární automaty

Mravenčí kolonie

Rojení částic
(Particle Swarm)

Evoluční (genetické)
algoritmy

Závěr

Shrnutí

- ✓ Umělý život studuje zákonitosti a jevy probíhající v reálných živých systémech
- ✓ Simulace umělých systémů je základní nástroj
- ✓ Cíle:
 - ✗ pochopit efekty jednoduchých zákonitostí a pravidel v systémech s celými populacemi jedinců
 - ✗ využít (upravit) tyto zákonitosti pro řešení praktických úloh

Kde se můžete dozvědět víc:

- ✓ A4M33BIA: Biologicky inspirované algoritmy
<http://www.feld.cvut.cz/education/bk/predmety/12/58/p12584904.html>
 - ✗ Úvod do neuronových sítí a evolučních algoritmů
 - ✗ Jde spíše do šířky (co vše tyto algoritmy umí) než do hloubky
- ✓ A0M33EOA: Evoluční optimalizační algoritmy
<http://www.feld.cvut.cz/education/bk/predmety/12/58/p12589004.html>
 - ✗ Zaměřen na několik typů evolučních algoritmů, jde do hloubky
- ✓ A4M33MAS: Multi-agentní systémy
<http://www.feld.cvut.cz/education/bk/predmety/12/58/p12585904.html>
 - ✗ agentní technologie do hloubky